

NSC88-2520-S-032-006

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

建構國中「物理」網路化教學環境之研究總計畫

計畫類別：整合型計畫

計畫編號： NSC88-2520-S-032-006

執行期間： 88 年 4 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人： 徐新逸

共同主持人： 錢正之

執行單位：淡江大學教育科技學系

國科會八十九年度「科學教育研究專題研究計畫」

計畫名稱：建構國中「物理」網路化教學環境之研究總計畫

計畫編號： NSC88-2520-S-032-006

主持人：徐新逸

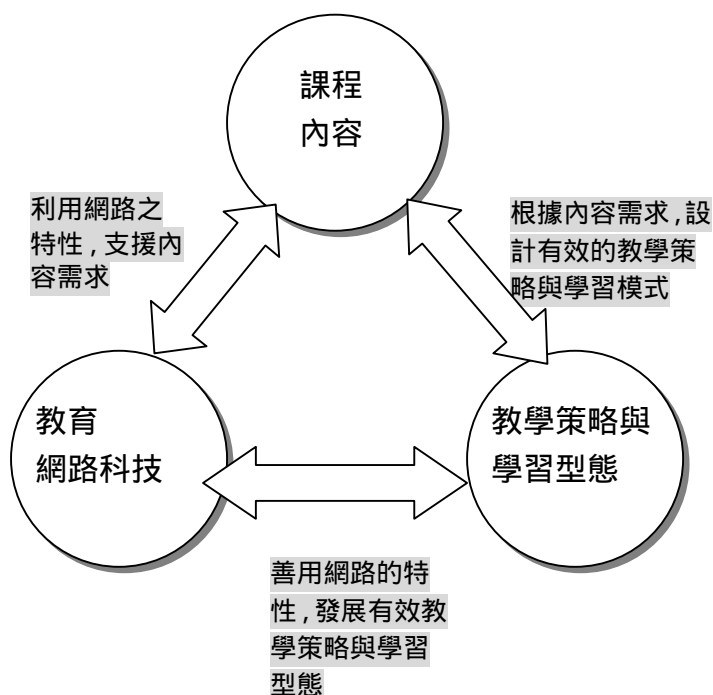
共同主持人：錢正之

執行機關：淡江大學教育科技學系

關鍵詞：國中物理、推理學習、網路教學

摘要

本整合型計畫之研究架構以課程內容、教學策略、與網路科技三大領域（參見下圖），來建構國中「物理」網路化教學環境。主要目的是以系統化教學設計之理念，整合學科內容之課程與教材(子計畫一)、教學策略與學習型態(子計畫二)、網路環境設計與發展(子計畫三)三個子計畫，分別設計發展國中「物理」網路教學環境。原計畫以三年完成，第一年計畫為建立雛形系統，以運動學、能量與功、光學折射為主要內容範圍。本網站名為「物理推理實驗室」(<http://phyed.et.tku.edu.tw>)，內容著重於物理觀念的推理。所採用的教學活動的設計策略，包含了觀念衝突、引導發現式教學、以及觀念的修正與建構，讓學生不是背誦來學習定律或原則，而是利用此定律來解釋日常生活中的物理現象。



在單元內容之設計，強調相關方程式與實際觀察現象之間的關係，幫助學生

不死記公式，而是了解現象的成因。例如：在中學課本光折射單元，傳統的教法是直接告訴學生結論：「光由光速快的介質傳入光速慢的介質時，例如由空氣中傳入水中，其前進方向發生偏折，而向法線靠近，即折射角小於入射角。」這個結論或許可以要求學生記下，但是考試後可能就不容易分清究竟什麼時候偏向法線、什麼時候偏離法線。本教材以動態的電腦模擬呈現出前面所提的推導過程，類比的方式，幫助學生利用速度差決定光折射的方向，只要懂得原理，就不必死記結果。單元內容之設計目的有二：一是讓使用者了解推理的重要性；二是希望使用者使用本網站教材時，依照引導問題所提供的線索進行，因為思考的過程遠重於問題最後所提供的答案。

本整合型計畫的「物理推理實驗室」的活動設計原則有以下幾點：

- (一)、生活化：在許多問題中，我們會用類似描述故事情節的方式來說明目前的環境，例如用海水、沙漠、冷熱空氣這些乍看之下與物理本身似乎不相關的名詞來取代密介質、疏介質等物體，以增加學校知識與生活之間的關連聯性，也同時訓練學生從看似複雜的情況中，找出簡單的物理概念。
- (二)、進行預測：一些不需要計算的觀念，以及可能發生的結果，讓學生試著先說說自己的想法，例如：先請學生預測水面上的海市蜃樓會顯現在實際物體的上方或下方？當學生們預測出答案之後再與模擬或展示的結果做比較，可能會出現許多有趣的結果。而這些說法，對教師了解學生的問題，及幫助學生克服學習困難，都會有很大的幫助。
- (三)、解釋理由：在許多問題中除了問學生答案之外，也請學生解釋他們的理由，以海市蜃樓的例子來說，不論學生們預測的答案為何，都要請他們用自己的話來說明作出這些預測的理由。這個設計的原因在於：讓學生試著用自己的話，應用物理原理來解釋所觀察到的現象；讓教師不僅知道學生的答案，也知道學生選擇答案的原因。
- (四)、觀念整合：在一系列的引導問題中，先讓學生嘗試回答比較簡單的問題，等到一串的問題答完了之後，讓學生重新審視自己的答案，決定最終的問題解答究竟應該是什麼。
- (五)、反向推理：一般的問題通常是描述一個實際的狀況，例如：人們眼中的海市蜃樓、或是從人的角度來看水池中小魚的位置等等，並請學生描述為什麼小魚會看起來比較近。但是在反向推理的活動中，則是給學生一個相反的情況，請學生想像如果從水中小魚的眼中，看人們的位置，會有什麼樣的不同？透過不同角度的問題，不但可以訓練學生反向推理的能力更能確保學生的理解程度。

本網站開發工具採用 Director LINGO，開發課程所需的工具或相關物件。目前網站功能：

-
- (一)、運動學課程內容—做為測試、驗證網路效能，及提供國中師生測試介面，建議課程內容改善之依據。
 - (二)、線上留言版—做為國中師生與本計劃工作人員的溝通介面，可以將意見直接反應，縮短工作時程。
 - (三)、網路流量統計—做為判斷網路架構適宜性的依據，做為未來改善的參考依據。
 - (四)、使用紀錄—做為第二年實做學習追蹤的參考，了解國中師生的上網情形。
 - (五)、開發(1)運動學 (2)能量與功 (3)光學折射之雛形課程內容。

總計畫的成果:

- (一)、舉辦中學物理老師座談會及訪談，實施內容與教學策略之需求評估。
- (二)、建構有效的理化科網路教學環境(含:課程內容、教學策略、網路環境三方面配合)。已開發(1)運動學 (2)能量與功 (3)光學折射之雛形課程內容，並以推理為設計策略。
- (三)、實施教學成效與教學系統之評鑑。
- (四)、提出網路化國中理化有意義之「教」與「學」活動。
- (五)、提出推動物理網路教學與課程設計模式之建議。

前言

對許多學生而言，學物理就等於學許多的定理和公式，接著再把一組數字帶入公式得到另一組數字。許多有關迷思概念的研究顯示，學生在進入學校之前，已對自然環境的結構及規律有了自己的看法 (Duit, 1983; Goldberg & McDermott, 1983; McCloskey, 1983)。等學生進入學校後，學到的卻是另一種與他們過去所相信的自然法則不同的世界觀。如果僅是把科學家所相信的理論告訴學生，而沒有嘗試著協助學生改變原有的觀念，單是以告知的方式教導學生新知識，對他們觀念的改變，僅有非常小的作用 (Halloun & Hestenes, 1985)。

因應未來的教學型態將由「教師為主」轉為「學習者為主」。遠距學習帶來了學習方式一大突破，透過資訊、通信及傳播科技，學習的時間及場所亦更加有了彈性。因為資料取得更為方便，有利於個別學習，自我導向學習也因此更加普遍。網路科技對學習環境之衝擊，除了涉及設計與實施的層面之外，亦會導致對學習與教學的理念、目標、型態、模式、結構與內涵等的全盤釐清與重新考慮，而其衝擊面亦將延伸至國中教育體系、教學方法與學習型態、教師素養與師資培育、學制的調整、多元文化的交流、弱勢者的學習機會。本整合型計畫以三年執行，分別分析發展及評鑑國中物理網路學習環境，每個子計畫亦兼顧學科內容之課程與教材、學生學習、教師素養與培育、及教學方法(教學模式與學習型態)。

此第二年計劃研究的目的，在於應用電腦模擬的特長，結合適當的教學方法，發展情境化網路學習環境之教師系統，並進行培育計畫，幫助學生有效的達成學習目標。

第一章 研究目的與理念

壹、研究目的

本整合型計畫分三年完成，第一年擬分析國中科學教育之現況、需求，發展推理性網路學習環境之學生系統，依據需求發展力、光、運動單元推理型態網路學習環境之教師系統。第二年完成所有單元之設計。第三年進行教學之實施成效評鑑。本結案報告將針對本整合型計劃第二年實施之成果如何結合適當的教學方法與策略，幫助學生有效的達成學習目標做一說明。

此整合計畫之總體目標如下：

1. 從學校層面而言，以課程與教材、學生學習、教師素養與培育、及教學方法(教學模式與學習型態)四個面向，探討國中在推動使用網路之現況、策略、困難、障礙、需求、校長教師行政人員之態度、與對學生學習之正負面影響。
2. 從班級層面而言，課程與教材、學生學習、教師素養與培育、及教學方法(教學模式與學習型態)四個面向，探討網路科技在國中班級活動中所產生之正負面影響，包括：教學模式、學習型態、師生關係。
3. 從教育政策層面而言，依據現況評析與規畫，擬定可行方案，並依據方案需求進行實施評鑑，提出教育部廳局推動教育政策之建議。
4. 兼顧質化與量化研究，共同策劃適合現有網路教學環境、充分利用網路資源、並有最佳整體學習效果之網路「教」與「學」模式

二、研究背景與理論架構

以網路為主的教學方式與特色，國內學者陳年興（民 86）認為，Web 是目前最佳的 Internet-based 網路學習環境，他同時歸納了 Web 輔助學習系統的特性如下：（1）學習可在任何時間及地點進行；（2）多元化的學習環境；（3）個人化學習環境；（4）合作學習；（5）建構式學習；及（6）家長的參與。

此外，Web-based 學習環境亦符合了以學習者為中心的學習行為模式，其特點如下：

（一）個別化與開放學習：

和電腦輔助學習一樣，全球資訊網輔助學習強調順應個別差異的個人化學

習。學習者可藉由系統所具有的互動功能，來選擇不同的學習路徑或學習內容。讓學習者可以開放學習（open learning）之型態自主學習（林奇賢，民 86）。

（二）促使學習者主動的學習：

網路的多點連結及即時互動特性，讓學習者能在網路世界自由探索，促使學習者能主動探索知識（林甘敏，民 88）。學習者由消極的知識接受者轉變為積極的自我導向者（Gillani & Relan, 1997）。

（三）促使合作學習：

全球資訊網輔助學習系統中的溝通與討論功能，再加上其學習不限時空的特色，可讓學習者保留與呈現其學習成果，學習者不但可成為資源提供者，學習者更可能扮演研究者的角色，將有功於提升學習品質（林奇賢，民 86）。網路的世界可讓學習者自由地瀏覽知識庫，亦可讓學習者互相交換知識與意見，達到合作學習與互相切磋的目的（林甘敏，民 88）。

（四）符合建構式學習：

建構式學習理論強調經由探索（exploring）和發現（discovery）式的學習過程，在這種學習過程中，學習者比較容易內化與統整學習材料。全球資訊網輔助學習系統提供了多元化的學習資源，並以超媒體方式呈現，故學習者在學習過程中必須自行選擇學習的路徑。這種學習的方式，正是所謂的建構式學習（constructive learning）（林奇賢，民 86）。學習者可根據個人背景知識、經驗或個別需求，非線性地蒐集及瀏覽資訊以組織概念，亦即自行決定不同的資訊蒐集及資訊呈現的順序，有利於個人知識的建構與整合，適合建立高層次的思考方式（張史如，民 86）。

（五）訓練問題解決的能力

在全球資訊網之學習環境中，學習者針對實際的問題，透過網路，進行爭辯、討論、分析、歸納、再解決的學習方式，有助於正確觀念的建立與問題解決的能力。

在今日電腦與傳播科技日新月異的年代中，除了學科專業知識將不斷推陳出新之外，教學的觀念、方法、以及師生的角色、互動關係也不同於以往，因為人類的學習型態與學習環境已產生巨大變化，而教學觀念與教學方法更開始進入了多元化發展的新世紀。

在建構及合作式學習環境中，應用認知為導向的教學策略，並運用了 WWW 的特性及資源。其教學策略通常為以下幾種形式：

1. 作為確認、評估、及整合多種資訊的來源。

2. 作為合作、對談、討論、交換、及溝通意見的媒體。
3. 作為表現與傳佈文章、認知概念及意義的全球性平台。
4. 作為參與相似經驗、學徒制、及認知夥伴的媒體。

第二章 文獻探討

鑑於資訊科技的突飛猛進，藉由網路教學，教師可引導學生應用所學去發現解決問題的方法，學生可運用網路資訊與各項科學技能進行探究，由探索之過程培養學生之獨立思考能力，並覺察理化公式中之內涵。本計畫係針對國中物理化學教學中，教師認為課堂教學不易講解的主題，或學生易產生另有概念（Alternative Conception）的學習主題，設計適合於網路教學的教學策略（Web-based Teaching Strategies）與學習模式（Learning Models），分別是引導發現式學習、小組合作學習（Cooperative Learning）、問題導向教學（Problem-Directed Instruction）、專題導向教學（Project Based Learning）等策略，其中再配合物理科特性本網站更需加強推理的實驗設計，以協助教師引導學生進行概念的學習（Conceptual Learning）。

一、引導發現式學習

（一）方式：

當學生面臨解題困難，或學生自行上網路練習，沒有其他同學、師長可以討論時，引導發現式教學將提供一系列子問題，引導學生自行找出解題的策略，並發現問題的解答。子問題的設計方式將依主題與活動型態而有所不同。例如：「力與運動」的教學主題，將運用網路各項教學特性引導學生由物體運動的初速度及末速度狀態，分析而得到速度的變化，再由牛頓第二定律推想出合力的狀況；或引導學生分析各分力的情況以求得合力，並由此推論速度變化的情形。在解決未明確提供條件的問題（ill-defined problem）時，將引導學生從最後的問題中，分析哪些物理概念可以幫助解決問題，再由不同的概念為主體（如拋體運動、能量守恆），將整個問題切割為數個小問題，然後一一解決。

（二）說明：

當學生面臨困難，或學生自行在網路進行自我引導式學習（Self-Directed Learning）時，沒有其他同學、師長可以討論時，引導發現式的教學策略可運用網路各項教學特性，提供一系列子問題，引導學生自行找出解題的策略，並發現問題的解答。引導發現式教學可由系統式的小問題引導學生逐步思考並釐清問題，分析哪些學過的物理概念可以幫助解決問題，再構思解題計畫，然後發現結果。

二、合作學習

合作學習強調互賴、個人績效及社會技巧的培養，以完成團體目標。合作學習不但重視學習成就與學習效果外，同時也重視學生社會能力的培

養。在國外已有許多研究著眼於合作、競爭與個別學習三者間的關係，而國內也有許多研究發現合作學習確實是提升學習表現的主要原因。

Johnson & Johnson (1991)和 Parker (1985)指出，「合作學習」即是讓學生分派在一小組中，以合作方式進行學習。學生彼此共同工作以完成目標，透過資料，彼此討論、互助、鼓勵，對彼此的觀點提出批判和修正，使各組的同學都學會指定教材。簡言之，「合作學習」是一種小組互動、彼此依賴、相互幫助，兼顧個人績效及完成整組共同目標的教學策略。

（一）合作學習的類型

根據文獻歸納合作學習的方法（黃政傑和林佩璇，1996），大致分為下述五種類型：

1.共同學習（Learning Together，簡稱 L.T.）

由 4、5 位學生組成異質團體（heterogenous）共同研讀一份學習材料，合力接受一個測驗，此測驗成績為全組成員成績。L.T.是強調共同研讀與分享團體努力的成果。又為增進學生更精緻的思考、專注學習的行為，儘可能採用異質的、混合學業取向與非學業取向的學生、師生共同選擇、以及較長期的分組方式。

2.學生團隊學習（Student Team Learning，簡稱 STL）

由異質團體共同學習後，個別接受測驗，將成員測驗得分相加形成小組成績，並做為每一成員成績，強調共同研讀，共同分享個別努力的成果。此法主要有四種設計，其中「學生小組成就區分」（Student Teams-Achievement Divisions，簡稱 STAD）與「小組遊戲競賽」（Teams-Games-Tournament，簡稱 TGT）普遍適用於大多數的學科與年級，而「小組輔助個別化學習」（Team Assisted Instruction，簡稱 TAI）與「合作整合閱讀與寫作」（Cooperative Integrated Reading and Composition，簡稱 CIRC）則是使用於專門學科與特定年級的整合性課程設計。其中 TAI 的設計主要基於一個假定：如果學生能自行檢查所學習的教材和自行管理教室，教師則會有更多的時間去教導個別學生或同質性的學習團體。

3.團體探究（Group Investigation，簡稱 GI）

將教學單元分為幾個主題，全班每一小組負責一項主題，小組準備與研討所負責之主題，向全班其它小組報告，成績評定乃依小組報告品質及其它相關的團體表現，GI 強調小組內的分工合作與

共同分享團體努力的成果。是一種高結構的教學法，此法與 STL 最大的不同處是不強調以特別的團體獎勵作為激勵學生表現動機的手段，而較關注於學生參與學習活動之「內在的」(intrinsic) 學習動機。

4. 拼圖式學習 (Jigsaw) 及拼圖式學習，第二代 (Jigsaw II)

將相同學習材料分給各小組，各學習小組的成員先分別至不同之專家小組熟習部分課文，再回原小組將其熟知部分教給其他同學，強調分工合作與個別享有個人努力的成果。第二代則計分不同，強調分工合作與共同分享個別努力的成果。

5. 配對式合作學習 (Dyadic Cooperative Learning)

將合作學習與認知心理學結合，每對學習者必須輪流扮演回憶者與聽諫者的角色，共同促進教材的組織與保存。

上述多種合作學習法的設計，都存在有不同的哲學觀點與理論基礎，雖強調之重點各有不同，然皆具備下述五項基本要求 (Johnson & Johnson, 1994)：

1. 積極的正向倚賴 (positive interdependence)。學生們瞭解要為他們自己及其所屬之小組成員的學習負責。
2. 培養個人的績效責任 (individual accountability)。每位同學對指派的作業，要能有爭取好的精熟表現，且被小組成員瞭解。
3. 面對面積極的互動 (face-to-face positive interaction)。學生們彼此有機會相互解釋所學，相互幫助並完成指定作業。
4. 增進社會技巧 (social skills)。學生們要有效溝通，為團體工作提供領導，並建立團體成員間之信任。
5. 團體歷程 (group processing)。團體必須階段性的評估一起工作的情形，以及如何改進團體效能，目的是澄清和改善小組運作效率。

但是若以「合作」來當作以網路為基礎的教學模式要素。其主要特性是其能連結並整合同伴間的參與。為了要對合作的形式有更進一步的瞭解，讓我們來看看有哪些因參與者不同而分出的合作學習類型 (Trentin, 1999)。

1. 老師與老師間的合作：此指的是老師們互相分享設計的教學大綱、教學活動等...。在這裡的合作是在於老師提供其他同儕的教學基準及協助教室活動之施行。

- 2.老師與專家間的合作：此有最基本的假定，就是在老師與專家之間各有一溝通管道。透過這個管道，老師將可接收到專家提供有關教師訓練、教學方法論等資料消息。這樣的合作形式通常包含一位專家及一群老師。
- 3.學生與老師間的合作：通常這是由學校外部的人所成立的。此合作方式通常是為了要實現由某位學習者所提出的計劃，而非針對全班的合作形式。在這裡通常是運用 C M C 來建立新的師生關係情況。如：Systemic Change in Math and Science Education，此計劃是由 Rick Scott of the University of New Mexico 提供的課程，此課程大部份是用電子郵件及電子佈告欄給數學及科學老師來教課的。學生必須因上網而會使用到電腦、數據機、及電話線。一學期會有三次四小時面對面會議的機會，學生可以使用 C M C 來認識彼此。此課程主要著重在提供數學及科學教育有關經驗及探索系統改變的概念。課程的形式主要是討論會，先由主持人上傳讀書資料，問問題或貼問題去讓大家開始討論。
- 4.學生與學生間的合作：這樣的合作形式常是以討論或是要發展一個作品；以解決共同問題為基礎的。
- 5.學生、老師與專家間的合作：在此，C M C 可扮演領導的角色，它可促進學校與外界專家的聯繫亦可使學生間更親密。此為合作學習中很重要的組合。

三、問題導向學習

「問題導向學習」可以培養學生批判性思考及反思的技巧，從問題解決中，提升學生的創造力。「問題導向學習」源自於醫學教育，在國外早已行之有年，

且普及至法律、商業教育及行政管理等學科領域（Beebe, 1994; Cordeiro & Campbell, 1995; West & Watson, 1996）。

「問題導向學習」的主要特徵有：

- （一）以問題為學習的起點；
- （二）問題必須是學生在其未來的專業領域可能遭遇的非結構式的問題（ill-structured problems）；
- （三）學生的一切學習內容是以問題為主軸所架構的；
- （四）偏重小組合作學習，較少講述法的教學；

(五) 學生必須擔負起學習的責任，教師的角色是指導後設認知學習技巧的教練 (Cordeiro & Campbell, 1995; West & Watson, 1996)。

科學家是先發現問題現象，為解決科學問題，蒐尋並閱讀相關理論，進行實驗，以獲得解決問題的方法，在這過程中，其科學知識同時獲得成長。所以，一切的學習活動都是與所要解決的問題相關，以解決問題為目標，因此，以問題為起點的「問題導向學習」，符合「提供學習者『真實的學習情境』」的精神。「問題導向學習」以真實的複雜性問題開啟學生的學習動機，強調學生從解決問題的過程中主動學習，但是，在解決問題的過程中，更需要學生運用合作的技巧、批判性思考的能力，藉由討論活動，針對個人創造性思考所產生的觀點或思想，逐一審視，才能從眾多的策略，選擇最佳的解決方案，達到解決問題、創造科學新知的目的，因此，「問題導向學習」與「合作學習」在培養學生科學創造力上是相輔相成的。另外 Cordeiro & Campbell (1995) 強調：教師是「問題導向學習」成功與否的重要關鍵人物。他們認為，實施「問題導向學習」時，教師的角色是教練，指導學生合作的技巧、學習的技巧及溝通的技巧，使學生的群體討論活動能更有效的運作；教師是資源提供者，指引學生尋找解決問題所必須的資訊，減少學生盲目摸索的機會；教師也是共同學習者，教師不再把學科內容視為教學的唯一重點，而是重視思考、發現問題及探究的學習過程，與學生一起「學習如何學習」(Achilles & Hoover, 1996)。因此，在討論過程中，教師的職責應是鼓勵學生合作、知識交流，如果學生所提的問題不當，教師應當引導學生修改所提的問題，藉以引導所有學生做更深入的思考與討論，而不應對學生所提的問題做價值判斷，甚或責備，更不應將問題解決視為學生個人的職責，使提問題的學生陷入無助的困境，

四、專題導向學習

專題導向學習 (Project Based Learning) 是具體發揮建構主義理念的一種學習方式，其目的在解決學習者不能活用知識之現象。為解決這項使得教學績效不彰的難題，其主要的做法是藉由知識或技能的專題，統整不同的學科領域，安排複雜的作業，設計出能增進學習動機、發展後設認知策略、以及合作學習的情境，使學習者不僅能學到解決問題的知識、能力，也能學到如何應用知識。

專題導向學習呈現建構主義精神的四種要素 (Blumenfeld et al., 1991, Blumenfeld, Krajcik, Marx, & Soloway, 1994; Krajcik, Blumenfeld, Marx, & Soloway, 1994)

(一) 導引問題 (Driving question)

由於建構主義強調讓學習者置身於真實問題的情境中學習，就此理念而言，專題導向學習首先安排一個能引發學習者調查、組織概念的導引問題。導引問題的設計必須是：「可行的」、「有價值的」、「情

境化的」、「有意義的」，同時情境不可限制太多，以免限制學習者自行解題的空間。

(二) 調查活動及專題作品 (artifact) 的發展

專題導向學習透過學習者著手調查，發展專題作品機會，使其體驗蒐集、分析、整合資料、作結論、以及發表認知歷程。在此過程中，藉由科技知識運用（例如網際網路資源、電子通訊等工具），以獲取訊息。由於作品實際可見。（例如網頁、網站呈現、錄影帶、報告等），有助於學生討論批評及修正，更重要的是這種過程反應了真實世界的現象。

(三) 合作的學習方式

源於建構主義著重學習社群知理念，專題導向學習讓師生之間，透過電腦網路和社會成員互動，並形成學習社群，藉由合作探索問題的過程，分享訊息，數據，資源及觀念。

(四) 使用科技作為認知工具

專題導向學習主張用科技提供生動的表徵，不僅能增進學習者興趣，同時也能輔助其操弄、建構並修正表徵或是獲取訊息。如電子通訊 email 及多媒體之應用，將科技教室轉換為學習者主動建構知識的環境，這樣建構的學習環境，正是以科技支援建構主義的精神及理想。

專題導向學習強調以學生為主體、以生活經驗為重心、跨學科的、長期的學習活動、整合真實世界的議題和實踐。透過老師在學習過程中的鷹架引導學習、從真實的經驗中學習，並強調與人合作的學習，獲得並創造個人的知識。

第三章 教學策略應用 教學活動規劃

一、教學流程規劃：

無論使用何種教學策略，其教學流程可分為下列四個步驟：

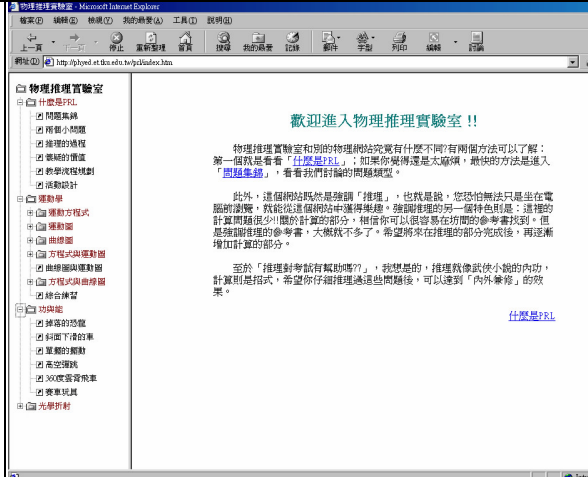
- (一) 觀念介紹：討論各主題的主要概念及解題步驟。
- (二) 推理演練：給與學生一系列的問題，引導學生試著用最熟悉、最基本的概念，來解決問題。
- (三) 實戰演練：給學生一個生活中可能遇到的狀況，讓學生從分析問題、策劃解題步驟、解決問題、檢驗答案、到做必要的修正，完成一整個過程。愈後面的單元將包含愈多的主題。例如，力與運動將包含運動學的問題；能量單元又包含力與運動及運動學的問題。
- (四) 內容安排：1、策略分析（舉運動學、力學、光學為例）；2、引導問題；3、解題策略設計；4、問題背後的小故事。

1-3 部分必須使用者參與動手及動腦，推理實驗室的活動，無法由純閱讀的方式學習。小故事則包含與該問題有關的背景故事，可能是在過去研究人員在研究這個問題時發生的一些事，可能是這些研究人員的介紹，也可能是相關研究的參考文獻。

二、引導發現式學習

如在之前的運動學單元中，介紹了各種符號與實際運動間的關係。這些符號意義如果能徹底了解，將是解決物理問題的有力工具。在進入力學問題之前，本單元將強調當各種外力作用下，將對各種運動圖或曲線圖產生什麼影響；同時，也希望學生能由研讀這些運動或曲線的變化，能反推回可能的外力作用情形。事實上，這種能力對科學研究非常的重要，科學家藉由許多可觀察的現象，推測那些原因是可能的，也同時排除某些原因的可能性。

例如在力與運動的單元中，可運用策略如下表：

教學網站	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>http://phyed.et.tku.edu.tw</p> </div> <div style="flex: 2;">  </div> </div>
------	---

教學策略

單元的介紹方式，仍秉一貫的設計原則，先給學生一個簡單的情況，並設計一系列的問題，幫助學生在引導下分析相關的運動圖、曲線圖等資訊。

例如，一個乒乓球在水平、非完全彈性桌面上反覆落下、反彈、直到停止的過程中，請學生分析各種力出現的時間及大小方向，然後繪出 $x-t$ 、 $v-t$ 、 $a-t$ 等曲線圖。

老師亦可問另一類的問題，則也是從另一個方向請學生作分析：如果今天你看到了一組運動圖，或是一個實際的運動狀況，應該至少會有哪幾種力的存在，整體的淨力與個別的分力又應該具有哪些特性？透過相互推論的過程，把力與運動之間做好連結的關係，也使運動學符號在真正解決力學問題時可以發揮功效。

The image shows three identical screenshots of a web browser displaying a physics laboratory page. The page is titled "物理學實驗室" (Physics Laboratory) and contains text about motion, velocity, and acceleration. The text discusses the relationship between position, velocity, and acceleration, and provides examples of motion problems. The page includes diagrams and equations, such as $x = -2m$ and $a = 2m/s^2$.

三、合作學習

我們可進而探討適用於網路上的合作學習策略可有哪些：

（一）網路合作學習策略 透過人與人之間的溝通來學習

本文中以透過人與人之間的溝通網路合作學習策略有兩種模式要介紹，分別為相互教學(reciprocal teaching)及拼圖法(jigsaw method)。

1. 相互教學(reciprocal teaching)：此模式可促進群體工作及增強學生與老師間的合作關係。最初的構想主要是應用在閱讀及理解能力的培養上，現在漸漸延伸到學校活動的其他方面上了(Brown and Palincsar,1989)。每一節課請每個學生輪流扮演老師的角色，當扮演老師時，該學生需將此節要閱讀的文章先做扼要說明、主持討論會、

在對文章做假設後再進行下一步活動。這種方式，在進行閱讀活動的目的並不僅僅是給予學習者認知上的需求，而更能促進學習者反向思考的能力。例如此相互教學合作學習策略可實施如下：

以本計劃教學網站為例：

教學網站	http://phyed.et.tku.edu.tw
教學策略	<p>本站適用於國中、高中各年級同學，可先請同學設定自己的身份，進入此教學網站之後再依所需尋找資料；建議教學策略如下：</p> <p>(1) 請同學先設定尋找主題</p> <p>(2) 鼓勵同學嘗試以不同身份登錄，試試扮演一下其他人的角色，想像一下如果自己是校長、老師，會希望在本站之中獲得那些資訊。</p> <p>(3) 當扮演成教師時，可在討論區裡設定題目，讓同學在此網站或其他相關網站中找到相關的資訊，例如：「你知道牛頓的三大運動定律內容為何嗎？」...等等，讓同學從尋找之中增強印象。</p> <p>(4) 安排《圖書館探索》活動，教導同學如何使用書目系統，了解一下圖書館內有那些資源可以使用，培養同學善用圖書館的習慣。</p> <p>(5) 提醒同學要勤作筆記，將探索的過程記錄下來。</p>

2. 拼圖法(jigsaw method)：此法可分成幾個步驟(Aroson,1978)，如下：

- (1) 先透過腦力激盪的活動，請學生找一個主題進行專題研究。
- (2) 此主題再細分成五個次主題。
- (3) 每一次主題由一組人員負責，如此做完該次主題後，每一次主題裡的人員都可成為該主題之專家。
- (4) 再將整組人員再重新打散，再重新分成五個新的小組，如此一來，每一組至少都會有一個有關之前做過之次主題的專家。
- (5) 將每一小組所做的總集合起來，每一個人都將其所學到的片段知識集合起來，最後可學得對此主題完整的知識。

另，Slavin (R. E. Slavin,1988) 亦說明了拼圖法的用法，其指出學生採異質分組，並分配每人一小單元或一章節進行學習，而後再提供專家單(Expert Sheet)，專家單中包括不同主題，每一組員必須精熟主題之一，不同小組中學習同一主題者，再組成一專家小組共同討論約 30 分鐘，而後所有專家們回到自己所屬組別，輪流將自己所負責的部分教給同組的其他組員。

(二)透過合作作品來學習

此學習活動的關鍵主要以透過與組員討論為基礎去組織學習活動的能力。另外，最重要的關鍵是在於事先要先架構整個作品實施的步驟項目。通常實施步驟如下：

-
1. 起始階段：
 - (1) 察覺問題
 - (2) 確定研究的題目
 - (3) 擬定研究計劃
 2. 過程階段：
 - (1) 確定研究目的
 - (2) 設計實驗
 - (3) 資料處理與呈現

二、成果階段：發表研究過程、方法、結果。

很多人認為此方法比上述之方法更有學習效果。原因是其能提供學生反向思考的機會，為什麼呢？根據文獻上的研究，因為科技整合了有關反省思考的鷹架設計特徵來進行合作學習的，此特點簡述如下：

1. 顯示階段：顯示問題解決與思考的程序，在此階段中明確的告知學習者當他們在解決某一任務或學某一概念時，所應做的事情有哪些，這可幫助學習者自我思考並藉著反向思考達到學習目標。此反向思考、反省大多是發生在其成果與其價值還有成果創造的過程上。
2. 提示、刺激階段：提示刺激給學習者去解釋並檢測其解決問題過程中的行為。讓學習者了解與追蹤自己作法的程序。
3. 過程模式：著重在學習者展示作品過程及其在過程之付出上，學習者可以比較並對照專家對自己的思考程序有何差異。
4. 反省社會性討論：建立互動式的討論機會，提供學習者多元化表達與回饋之機會並反映出此情況。

四、問題導向教學活動設計

科學教育不僅止於學習科學知識 (scientific factual knowledge)，更需要培養學生創造能力；科學學習不是技巧的模仿而是創造，教材不應侷限在教科書的內容，而應將學生生活中所遭遇的科學相關問題視為科學教育的活教材，讓學生有機會運用既有的科學知識解決真實世界中的問題，同時，在問題解決過程中，創造新的科學知識。中小學的科學教育應該使學生們能靈活應用科學家探究科學的方法：(1)提出好的科學探究問題，(2)深入瞭解所提出的問題，(3)選擇能獲得解決方案的實驗、觀察及分析活動，(4)根據前項選擇而實際操作，(5)從實驗結果中瞭解問題，(6)發表實驗結果。故本計劃活動設計的理念如下：

- (一) 在許多問題中，我們會提供一個故事背景，用汽車、樹、高空彈跳等與物理本身似乎不相關的名詞來取代立方體、台車、法碼等物體，以增加學校知識與生活之間的關連聯性，也同時訓練學生從看似複

雜的情況中，找出簡單的物理概念。

- (二) 進行預測：在學生學習基本的物理或化學定理公式之後，以電腦模擬提供學生一個未明確提供條件或矛盾的問題。一些不需要計算的觀念，以及可能發生的結果，讓學生試著先說說自己的想法，再與模擬展示的結果做比較，可以幫助學生了解自己的想法。如果總是直接展示答案，學生通常會說：「沒錯沒錯，答案當然應該是這樣。」如果讓學生試試先說自己的看法，可能會出現許多有趣的結果。而這些說法，對教師了解學生的問題，及幫助學生克服學習困難，都會有很大的幫助。
- (三) 解釋理由：在許多問題中除了問學生答案之外，也請學生解釋他們的理由。這個設計有兩個理由：讓學生試著用自己的話，應用物理原理來解釋所觀察到的現象；讓教師不僅知道學生的答案，也知道學生選擇答案的原因。這個部分需要老師的協助才能達到效果。
- (四) 觀念整合：在一系列的引導問題中，先讓學生嘗試回答比較簡單的問題，等到一串的問題答完了之後，讓學生重新審視自己的答案，決定最終的問題解答究竟應該是什麼。
- (五) 反向推理：一般的問題通常是描述一個實際的狀況，例如拉動滑輪、或是電梯上升等情況，請學生描述力圖或是能量的變化圖。在反向推理的活動中，則是給學生一個力圖或能量變化的情況，請學生想像一個可能的情形。找出來的答案，則有各種的可能，可以讓學生討論各組的答案，訓練學生評量的能力。

若將學習視作一個主動的過程(Active process)參與，則任何教學策略上的重點應是如何增加學生的參與(engage the learner)，即指定學生完成某一學科的課業(task)，教師的責任即是選定某一課業對學生學習有益，且合其興趣及適合其認知及生理能力(黃台珠，民 87)，這告知我們設計問題時必須考慮學生原有知識體系間的關聯狀況切勿設計出打擊學生自信心及扼殺學習興趣的學習題目。

將學生視為有探究能力的科學家透過以問題為中心的合作學習之教學，讓學生在同儕間相互觀點衝突討論下，找出自己迷思之處進而改正，並經由討論設定假設與策略，以分工方式進行探討實驗，經由觀察、記錄、分析、討論、諮詢、綜合等實際科學學習活動，以科學的態度和方法進行科學概念的學習與應用，這才能獲得直接的經驗、才是有意義的學習。

由於問題導向學習通常用在解題活動或是實驗課程，以本計劃之主題為例，我們可將課程如此設計。設計的重點如下：

教學網站：<http://phyed.et.tku.edu.tw>

教學策略

1.老師可事先將主要的問題分成一系列的子問題，讓學生可以從先前答案的解答中，尋找後續問題的答案。

2.將學生分成小組，學習較慢的學生，可以請教學習速度較快的學生；學習快的學生也可以透過解釋給其他同學聽的過程，增進自己的了解。

3.教師扮演教學促進者的角色。當學生學習活動的自主性增加後，教師可以有較多的時間，針對特別有需要的小組，對特定的部分提供幫助。

教學活動

一個小問題：

浮起來的硬幣？你曾經看過這個現象嗎？

在一個碗中我們置入一個硬幣，如果你將視線方向看去，直到你剛好看不到碗中的硬幣時才止步，當然，這時的你這時的你視線角度的關係一定看不到碗中的硬幣；但是，如果你讓你的朋友在那個碗中傾斜的注入清水，隨著水的增加，你會發現你不但逐漸看到了那個硬幣，更發現這個硬幣好像浮起來了，很奇怪吧！

這個實驗相信許多人都有做過，大家都可以很輕易的解答說：「這是折射現象所造成！」，但是請你仔細想想一下下面的折射原理：

「光由疏介質進入密介質，折射角偏折法線；

光由密介質進入疏介質，折射角偏折法線。」

從上述的原理你會發現，碗中的反射光由密介質(水)進入疏介質(空氣)，折射角會偏折法線；這不是代表我們所看到的硬幣應該會下沉嗎？那為什麼上述的實驗中，我們卻覺得硬幣浮了起來呢？

如果你不知道答案的話，請跟著我們為您準備的內容往下往下看，我們會一步一步的帶著您了解折射的原因與原理...

折射的成因

看不到碗下的東西，其實都是因為同一種現象所造成，這個現象就是光的折射。問題是，折射到底是什麼？又怎麼用來解釋上面的這些現象呢？

在本單元之中，我們對折光的說法是：當光線穿過不同的介質時（像空氣、水、玻璃等），光會以不同的速度前進；如果光以非垂直的角度，從一種物質進入另一種物質，因為速度不同，光就會轉一個方向前進。

這個說法過去好像很少聽說是不是？不急，慢慢看完下面的單元你將會相信，從這個觀點出發，彩虹、海市蜃樓、全反射等都會變得簡單易懂了。接下去的第一個單元，我們先研究下面兩個問題：一是光為什麼要彎折？二是光是向哪個方向轉折的？看完第一個單元的單元單動畫，你就會一併了。

光線彎折

1.4 坦克車和折射

在本章的一開始，我們曾經提到，光在不同的介質中，會以不同的速度前進，這是造成折光的原因。看完了前面的敘述與圖畫，你是不是已經想到坦克車和折光之間的關係了？下面是一個對應關係的表：

折光現象	類比
光	坦克車
光疏介質（如真空、空氣等）	柏油路等可讓坦克快速前進之場地
光密介質（如水、玻璃等）	沙地等會使坦克前進速度變慢的場地

關於這個對照表，有幾件事情要提醒大家注意：

第一，如果我們在兩種介質交界面上的任何一點，畫一條垂直於這個界面的直線，這條直線就是所謂的「法線」。如果你用剛才學的坦克車法則試著決定光折射的方向，你會發現這個方向剛好符合你在課本學過的一個規則：

「光由疏介質進入密介質，折射角偏折法線；

光由密介質進入疏介質，折射角偏折法線。」

第二，上述所謂的「偏向」某種方向，自然是和原本直線前進不偏折的方向比較，而這個偏折通常不會太大，再怎麼大也絕對不會超過法線。

第三，一般所謂的光疏或光密介質都是一個相對的概念，當兩種介質連在一起時，光前進比較快的是疏介質，慢的是密介質，而不是絕對的。例如，如果一邊是空氣一邊是水，那麼空氣是疏介質，水是密介質；如果把水和玻璃放在一起，那水可能就成了疏介質，玻璃才是密介質。

現在，你應該已經了解了我們剛才為什麼要決定坦克車方向的原因了，如果你能利用這個類比法決定光折射的方向，你就對折光有了比之前更深刻的了解了。

4.老師可以在教完主要的概念之後，先示範一、兩個例題，然後將主要的觀念，設計成一系列的引導問題，讓學生參與與討論的過程中，發現問題的答案，並且間接地學得解決問題的方法。



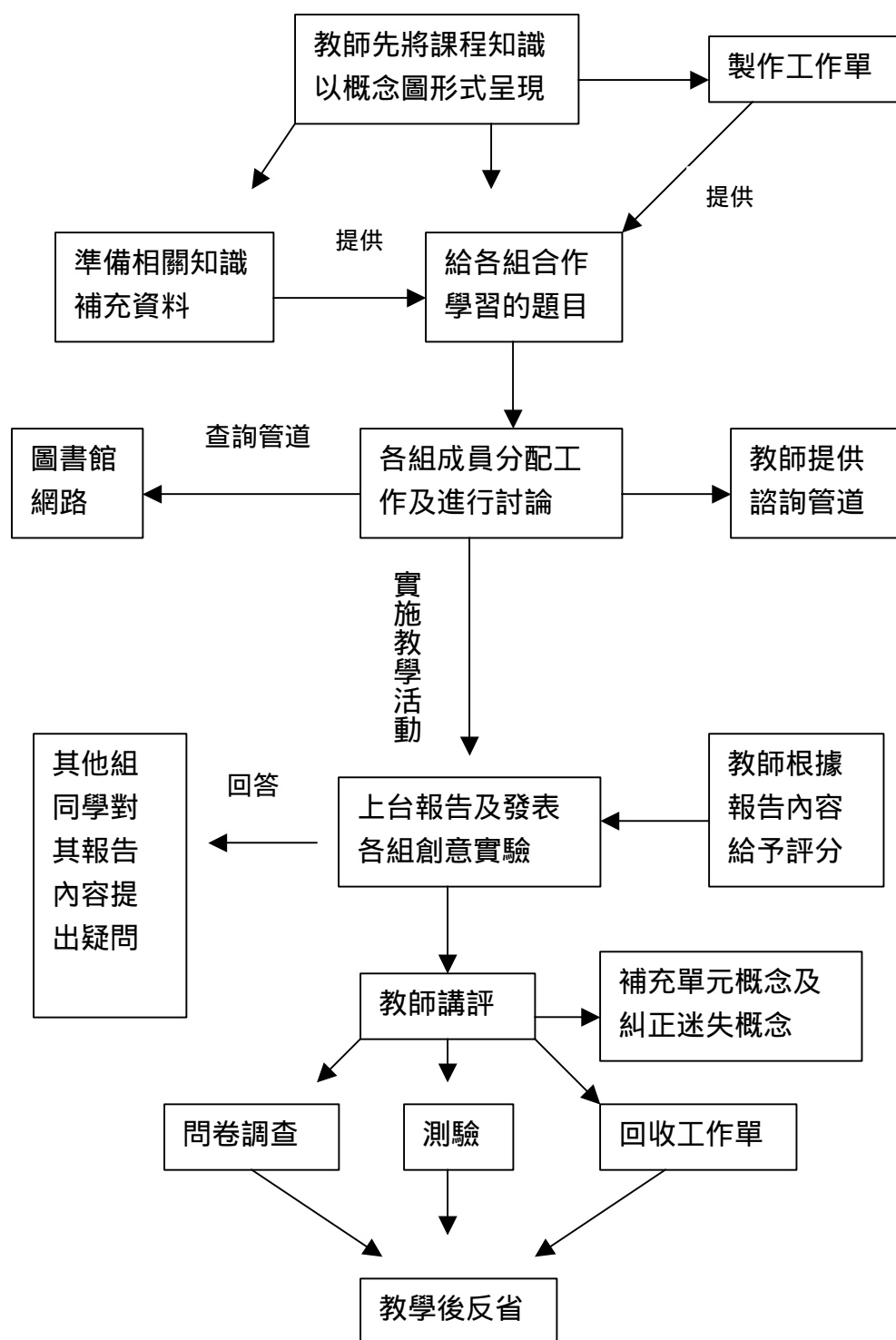
在課程安排上，由於學生一般已習慣了聆聽的方式，在實施不同教學型態時可能需要依情況先與學生溝通。譬如，助人與受幫助的雙方都能增進對課程的了解；如果在小組討論中發現自己學習的問題，可以獲得同學及老師的幫助，如果不參加討論，等到測驗時發現問題，是自己的損失等等。

五、專題合作教學活動設計

運用專題式學習（project-based learning）及小組工作（teamwork）的方式，要求小組成員能夠以合作學習的方式幫助其他成員並共同完成指定的目標。授課教師可以將學生分為數個小組，要求各組必須於期末前完成一份專題報告（譬如。學生可以透過網路學習社群所收集的各式網路學習資源網站，尋找、分析合適的報告主題，並於完成報告後上傳至網站上供所有參與者成員閱覽及評比。

專題合作的前提必須是全組同學皆達成學習目標的情況下才給予獎賞學生，而且教師必須要確定團體中學習能力較差的學生在合作的過程中也能夠有所貢獻，而不是只有少數同學的努力，這就是強調社會學習中小組工作的重要性。

教師設計課程內容時，注重概念原理的意義及關係，考慮學生的先前概念及學生的思考模式，盡量設計以學生為主的教學並且讓學生獲得有意義的學習，課程設計流程圖可如下：



工作單的設計以日常生活常見問題為主（本計劃提供一範本，見附件一），透過適當引導協助學生思考，從師生諮詢過程中，訓練及鼓勵學生表達自我的看法、提出自己想探討的問題與設計的解決方案，激發其創意思考能力，從中給予適度協助，引導其逐漸尋找出問題的解決步驟，此學習過程可以培養學生科學技能與科學精神與態度。

教師要能有技巧地引發學生提出疑問、激發其對新概念的高層次思考，引導其運用科學方法解決問題。鼓勵學生將所學知識應用在日常事物上，並試著解釋其科學原理，讓學生瞭解其所學知識的實用性及廣闊性。

學生透過小組合作、工作協調、發揮集體創意的實驗研究過程(包括：實驗假設、操作過程、驗證步驟、資料的查詢、與實驗結果的分析及最後成果報告的撰寫)老師只要給予適當的知識鷹架便能啟發學生學習的動機進而自我建構知識發展多方面的思考方向。

提供同學上台報告的機會，讓學生將自己組的討論內容透過肢體語言、海報設計、道具設計與台下同學分享，讓班上學生接觸更多的意見與科學觀點彼此相互回饋歷經“同化”(assimilation)和“調適”(accommodation)整合及釐清概念而使自己獲得完整的科學概念。

關於評量學生的學習歷程，除了傳統紙筆測驗外，還可以根據專題(project)、報告(reports)、自我報告(self-reports)、晤談(interviews)、口試及表現評量等方式進行多元性評量，以期能評估學生建構了什麼和如何建構，更進一步了解學生概念的轉變及迷思的所在。

參考文獻

一、中文部份

- 1.周立勳（1994）：國小班級分組合作學習之研究。國立政治大學教育研究所博士論文。
- 2.林甘敏（民88）。建構式電腦網路輔助教學教材的選擇與設計原則。載於中華民國電腦輔助教學學會主編：第八屆國際電腦輔助教學研討會論文集。台北：中華民國電腦輔助教學學會。
- 3.林奇賢（民86）。全球資訊網輔助學習系統：網際網路與國小教育。資訊與教育，58期，2-9。
- 4.張史如（民86）。從建構主義的觀點探討網路超文件/超媒體應用於教學上的意義。資訊與教育，58期，39-48。
- 5.張金淑（1989）：合作學習對學習效果之研究。國立政治大學教育研究所碩士論文。
- 6.黃台珠(民87)：概念圖：看重有意義學習的工具---科學教育的理念及趨勢。文章發表於國民中學學生概念學習學術研討會論文集，頁77。
- 7.黃政傑、林佩璇（1996）：合作學習。臺北：五南圖書公司。

二、英文部份

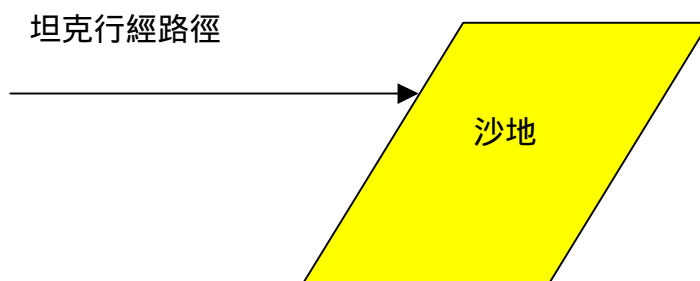
1. Achilles, C. M., & Hoover, S. P. (1996). Transforming administrative praxis: The potential of problem-based learning (PBL) as a school- improvement vehicle for middle and high schools.
2. Beebe, R. J. (1994). Problem based learning using student consultant teams.
3. Brown, A., & Palincsar, A.S.(1989). Guided cooperative learning and individual knowledge acquisition. In L.B.Resnick(Ed.), *Knowing, learning and instruction*, NJ Erlaum.
4. Cohen, E. (1986) . Designing groupwork : Strategies for the heterogeneous classroom. New York : Teachers College Press.
5. Cordeiro, P., & Campbell, B. (1995). Problem-based learning as cognitive apprenticeship in educational administration.
6. Duit, R. (1983). Energy conceptions held by students and consequences for science teaching. In H. Helm, & J. D. Novak, (Eds.) *Proceedings of the international seminar on misconceptions in science and mathematics*. Ithaca,

-
- NY: Cornell University, Department of Education.
7. Goldberg, F., & McDermott, L. C. (1983). Not all the many answers students give represent misconceptions: Examples from interviews on geometrical optics. In H. Helm, & J. D. Novak (Eds.) *Proceedings of the international seminar on misconceptions in science and mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University, Department of Education.
 8. Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
 9. Johnson D. W. and Johnson R. T. (1997). *Learning Together and Alone: Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning* (2nd ed). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
 10. Johnson, R. T., & Johnson, D. W. (1994). Learning together in the social studies classroom. In R. J. Stahl, (Ed.), Cooperative learning in social studies: A handbook for teachers (pp. 51-77). Menlo Park CA: Addison-Wesley Publishing Company.
 11. Johnson, R. T., & Johnson, D. W. (1994). Learning together and alone : Cooperative, competitive, and individualistic learning. (4th Ed.), Boston : Allyn & Bacon.
 12. McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 114-122.
 13. Slavin, R. E. (1988). *Student Team Learning*. Washington, D. C.: National Education Association.
 14. Trentin G. (1996). Internet: Does It Really Bring Added Value to Education? *International Journal of Educational Telecommunications*, 2(2/3), 97-106.
 15. Trentin G. (1999). Networked-based collaborative education. *International Journal of Instructional Media*, 26(2), 145-157.
 16. Valley, K., Steeples, C., & Hynes, P. (1996). Information technology and flexible learning, In J. Trait & P. knight (ED), *The management of independent learning*, London: Kogan Page.
 17. West, D. J., & Watson, D. E. (1996). Using problem-based learning and educational reengineering to improve outcomes.
 18. Willis, S. (1992). Coop. Learning shows staying power. *ASCD Update*, 34(2), 1-2.
 19. Xiaodong Lin, Cindy Hmelo, Charles K. Kinzer & Teresa J. Secules. (1999). Designing Technology to Support Reflection. *ETR&D*, 47(3), 43-62.
-

附件一：工作單

單元名稱：光學折射：光向哪裡轉 1-2 從硬地進入沙地

題目：如果坦克車以某一個角度由硬地進入沙地，右邊履帶先進入沙地，慢下來；左邊還在硬地上快速前進，會出現什麼結果呢？當然就是會轉向。想想看，這時候坦克應該轉向哪個方向？請在下圖中畫出你所預測答案，並試著說明你的理由。

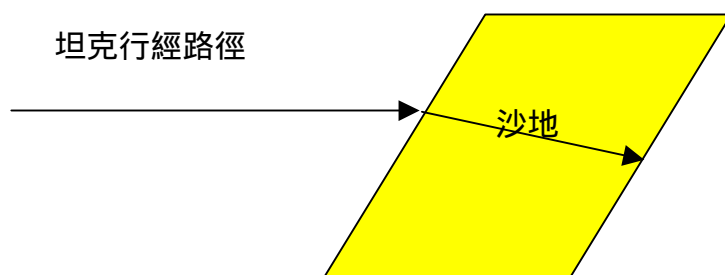


請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：光向哪裡轉

1-3 從沙地進入硬地

題目：1-2 單元中的動畫顯示的結果是，坦克一定是轉向比較慢的那邊。等到坦克完全進入沙地之後，兩邊履帶以同速前進，又恢復直進。等到快要離開沙地的時候呢？試著在底下的圖形中，畫下坦克可能的前進路線，並且嘗試著說明你的推理過程。

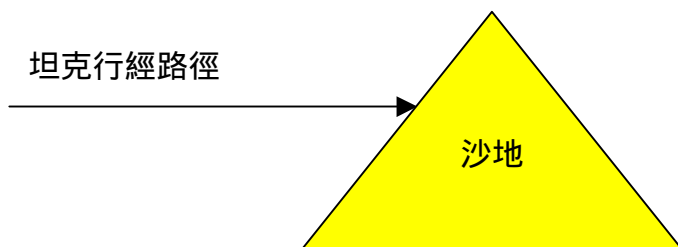


請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡

1-1 從硬地進入沙地

題目：假如坦克車是以下面箭頭的方向駛入速度較慢的三角形沙地，坦克車應該向哪個方向偏轉？現在我們先考慮進入的部份就好，如何離開沙地稍後再考慮。試著在底下的圖形中，畫下坦克可能的前進路線，並且嘗試著說明你的推理過程。

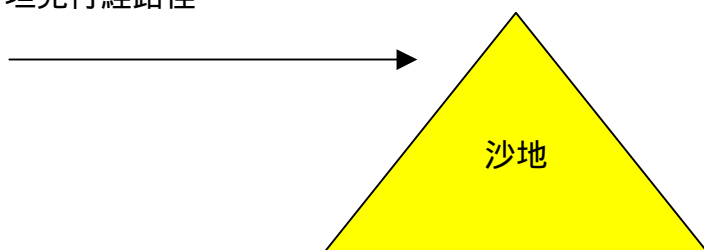


請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 **1-2 畫出法線**

題目：請將從 1-1 題中所得到的答案，由入射點的箭頭處開始，畫一條進入三稜鏡的光的路徑圖。接著，在這一個入射點的位置，畫一條垂直於三稜鏡的法線。請問，這束光是由疏介質到密介質還是密到疏？折射線是偏向或是偏離法線？請注意，在畫折射線的時候偏折的角度不要畫得太大，再大也不應超過法線。試著在底下的圖形中，畫出這條線來，並且嘗試著說明你的推理過程。

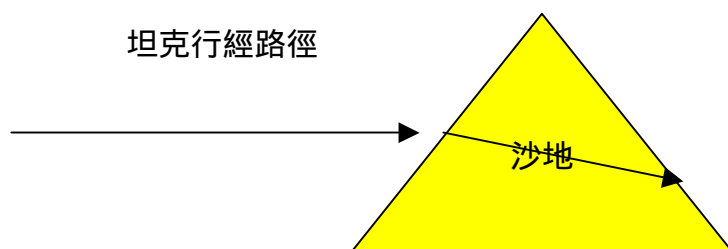
坦克行經路徑



請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 **1-3 從沙地進入硬地**

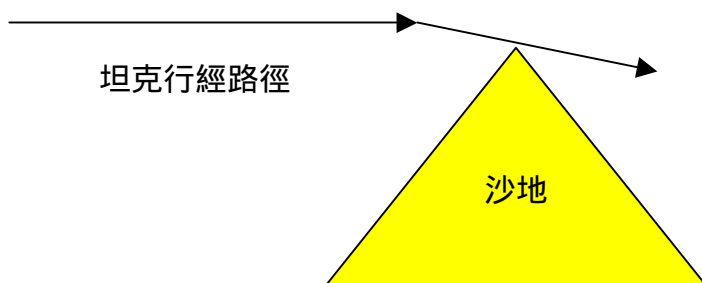
題目：現在我們再來分析光是如何離開三稜鏡的。在分析離開三稜鏡的情形時，我們把在稜鏡內的光當作是入射光，也就是我們在沙地上的坦克，請預測離開稜鏡後坦克車應該向哪個方向偏轉。試著在底下的圖形中，畫下坦克可能的前進路線，並且嘗試著說明你的推理過程。



請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 **1-4 畫出法線**

題目：請將從 1-3 題中所得到的答案，由入射點的箭頭處開始，畫一條穿越三稜鏡的光的路徑圖。接著，在這一個入射點的位置，畫一條垂直於三稜鏡的法線。請問，這束光是由疏介質到密介質還是密到疏？折射線是偏向或是偏離法線？試著在底下的圖形中，畫出這條線來，並且嘗試著說明你的推理過程。



請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 **2-1 從硬地進入沙地**

題目：假如坦克車是以下面箭頭的方向駛入速度較慢的雙凸形沙地，坦克車應該向哪個方向偏轉？試著在底下的圖形中，畫下坦克可能的前進路線，並且嘗試著說明你的推理過程。

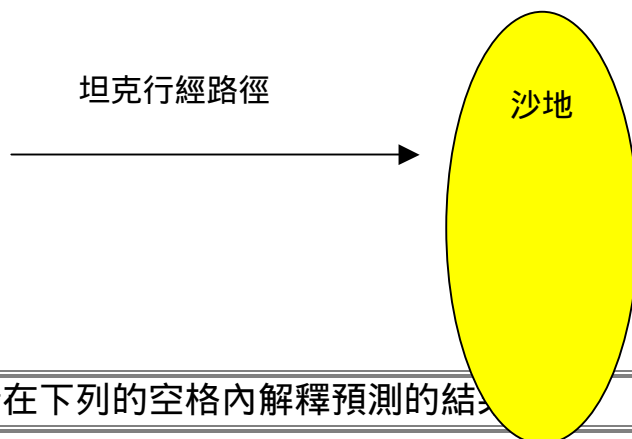
坦克行經路徑

沙地

請在下列的空格內解釋預測的結果：

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 2-2 畫出法線

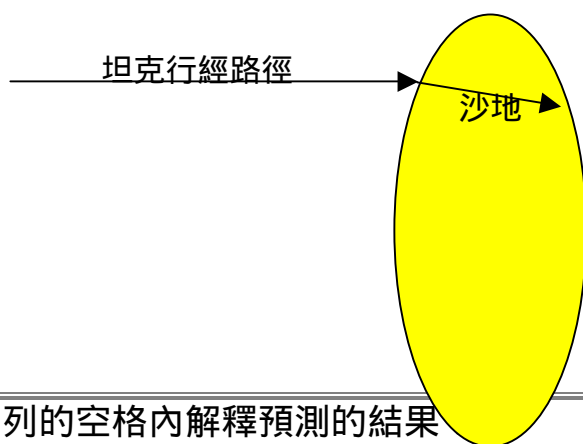
題目：將從 2-1 題中所得到的答案，由入射點的箭頭處開始，畫一條進入凸透鏡的光的路徑圖。接著，請在這個入射點的位置，畫一條垂直於凸透鏡的法線。試著在底下的圖形中，畫出這條線來，並且嘗試著說明你的推理過程。



請在下列的空格內解釋預測的結果。

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 2-3 從沙地進入硬地

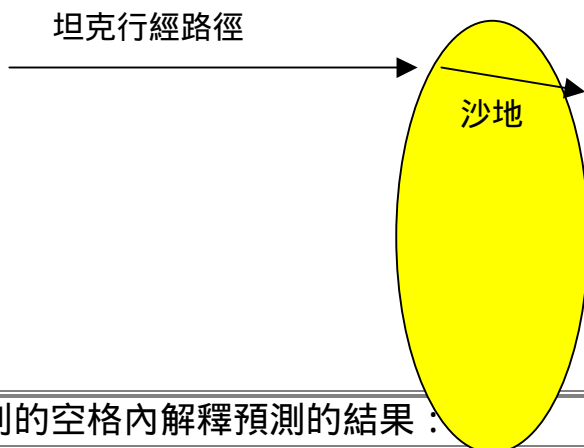
題目：現在我們再來分析光是如何離開凸透鏡的。在分析離開凸透鏡的情形時，我們把在透鏡內的光當作是入射光，也就是我們在沙地上的坦克，請預測離開凸透鏡後，坦克車應該向哪個方向偏轉。試著在底下的圖形中，畫下坦克可能的前進路線，並且嘗試著說明你的推理過程。



請在下列的空格內解釋預測的結果

單元名稱：光學折射：三稜鏡與凸透鏡 2-4 畫出法線

題目：請將從 2-3 題中所得到的答案，由入射點的箭頭處開始，畫一條光離開凸透鏡的路徑圖。（提示：在分析光離開透鏡時的入射點是在凸透鏡右邊、內側的邊界上。）接著，在這一個入射點的位置，畫一條垂直於三稜鏡的法線。請問，這束光是由疏介質到密介質還是密到疏？折射線是偏向或是偏離法線？試著在底下的圖形中，畫出這條線來，並且嘗試著說明你的推理過程。



請在下列的空格內解釋預測的結果：